Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 579-592

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۵۹۲-۵۷۹

مقاله علمی-پژوهشی

شبیه‌سازی عملکرد، تبخیرتعرق، نیاز آبی و کارآیی مصرف آب گندم با استفاده از مدل CERES-WHEAT-DSSAT در دشت شهرکرد

صغری توفیق[1]- داریوش رحیمی[2]*- حجت الله یزدان‌پناه[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

چکیده

هدف از این مطالعه ارزیابی مدل CERES-WHEAT برای برآورد تبخیرتعرق، نیازآبی، عملکرد و کارایی مصرف آب محصول گندم در دشت شهرکرد است. تحقیقات مزرعه‌ای برای انتخاب مناسب‌ترین روش‌های کاشت یا برآورد محصول معمولا هزینه بر بوده و نیاز به زمان طولانی دارد. مدل های شبیه‌سازی رشد محصول مناسب‌ترین روش برای کم کردن این هزینه و زمان می‌باشند. مدل CERES-WHEAT یکی از کارآمدترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی رشد گیاه گندم است. برای تعیین کارایی و انتخاب مدل بهینه برآورد تبخیرتعرق و عملکرد محصول گندم از داده‌های لایسیمتر ثبت شده ایستگاه تحقیقات کشاورزی استفاده شد. آنالیز حساسیت روش‌های برآورد تبخیرتعرق فائو پنمن مونتیث و پرستلی تیلور مدل CERES-WHEAT، مشخص کرد که روش فائو-پنمن-مانتیث با مقادیر MAD برابر ۰/۹۵، MSE برابر ۰/۹۵ ، RMSE برابر ۱/۵۷ و ضریب همبستگی 0/97 روش بهینه‌ای برای برآورد تبخیر تعرق محصول گندم در دشت شهرکرد است. نتایج آزمون آماری نشان داد که عملکرد محصول با این روش دارای حداقل خطا با داده‌های مشاهداتی بود. خروجی‌های مدل نشان داد روش فائو-پنمن-مونتیث مدل CERES-WHEAT کارایی بالایی برای شبیه‌سازی رشد و برآورد تبخیر تعرق گندم در شرایط آب‌وهوایی شهرکرد دارد.

واژه‌های کلیدی: پرستلی-تیلور، تبخیرتعرق، فائو-پنمن-مونتیث، لایسیمتر، DSSAT-CERES-WHEAT

مقدمه

آب به عنوان مهمترین و محدودکننده‌ترین عامل تولید، نقش اصلی در فعالیت‌های زراعی ایفا می‌کند. تبخیرتعرق به عنوان یکی از اجزای مهم چرخه آب نقش بارزی در مدیریت منابع آب و نیاز آبی گیاه دارد. افزایش مقدار تبخیرتعرق از این جهت یک مشکل فیزیولوژیکی برای گیاه به حساب می‌آید که تعرق بیش تر از جذب آب بوده و در نتیجه بازدهی محصول را کم می‌کند. اعمال محدودیت‌های آبیاری شامل استفاده از آب کم و به حداقل رساندن تبخیرتعرق در طی مراحل بحرانی رشد، برای به حداکثر رساندن محصول از جمله تلاش‌های صورت گرفته برای مقابله با این مشکل بوده است. بنابراین آگاهی داشتن از مقدار تبخیرتعرق گیاه گامی موثر در مدیریت مزرعه است.

گندم گسترده‌ترین محصولی است که در جهان کشت می‌شود. تغییرات آب‌وهوا و خشکسالی‌های پی درپی باعث تشدید تنش‌های آبی، افزایش نیاز آبی و آسیب‌پذیری این محصول شده است. بنابراین مدیریت منابع و نهاده‌های کشاورزی (آب، خاک، بذر، کود و..) برای رشد این محصول ضروری به نظر می‌رسد.

معمولا برای یافتن بهترین راهکارهای زراعی تحقیقات مزرعه‌ای انجام می‌پذیرد. .این تحقیقات با هدف افزایش عملکرد در واحد سطح، مدیریت آب، به‌نژادی و ...، معمولا نیاز به زمان و هزینه زیادی دارد. لذا مدل‌های شبیه‌سازی رشد ابزار ارزشمند و مهمی برای ارزیابی عملکرد محصول با توجه به داده‌های ورودی، عوامل محیطی و شیوه‌های مدیریتی است. مدل‌های آماری و شبیه‌سازی عددی به طور گسترده‌ای برای تشخیص روابط بین آب‌وهوا و محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. اما تأثیر عوامل غیر آب‌وهوایی (مانند تغییرات رقم و کود) بر عملکرد محصول نادیده گرفته می‌شود (۷). به همین دلیل،

۱- دانشجوی دکتری رشته آب و هواشناسی کشاورزی، دانشگاه اصفهان
۲ و ۳- دانشیاران گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: d.rahimi@geo.ui.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.84847

مـدل‌هـای دینـامیکی شـامل SOCRUS، EPIC[1]، WOFOST[2]، APSIM[3]، DSSAT[4] در زمینه واکـنش محصـول بـه تغییـرات آب، نیتروژن و آب‌وهوا مورد استفاده قرار می‌گیرند. در بین این مـدل‌هـا، DSSAT دارای مدل‌های جداگانه برای محصولات مختلـف اسـت و می‌تواند رشد و تولید محصولات زراعی سـالانه را بـه صـورت کمـی پیش‌بینی کند.

در رابطه با تبخیرتعرق، نیاز آبی و مدل‌سازی محصـولات زراعـی شامل گندم (۵ و ۷) پنبه (۱۱ و ۱۷)، ذرت (۴، ۲۰، ۲۲ و ۲۳) لوبیا (۹)، برنج (۱۳) و غیره مدل DSSAT بطور گسـترده‌ای در سراسـر جهـان مـورد اسـتفاده قـرار گرفتـه اسـت. DSSAT از شـیوه‌هـای مختلـف مدیریتی و شرایط مختلف آب‌وهوایی (۲۲، ۱۳ و ۱۸)، مدیریت آبیاری، پـیش‌بینـی عملکـرد (۸، ۲۶، ۲ و ۳۱) ، تغییــر آب‌وهــوا (۲۷ و ۱۹)، مدیریت کود (۳۳ و ۲۱) و غیره را برای مدل‌سازی محصولات زراعـی در نظر می‌گیرد.

این مطالعات ثابت کردند که DSSAT ابزاری مفید و قابل اعتماد برای شبیه‌سازی رشد، عملکرد، تبخیرتعرق و آب مورد نیـاز محصـول است.

در مطالعات انجام شده در ایـران بـا اسـتفاده از مـدل DSSAT، پژوهشگران بیشتر عملکرد و رشد محصول، رطوبت خاک و آبیاری را ارزیابی کـرده‌انـد (۱۴، ۱۶، ۱۲، ۲۸، ۲۹، ۶ و ۳). تحقیقـات در زمینـه کارایی مدل DSSAT برای برآورد تبخیرتعرق و نیازآبـی بسـیار کـم بوده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه:دشت شهرکرد در ۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۰ درجه و ۴۷ دقیقـه تـا ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه طول جغرافیایی گسترده شده و ارتفاع آن ۲۰۶۶ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱).

مواد: در این پژوهش از داده‌های ۲۰ ساله (۱۹۹۹-۲۰۱۷) ایستگاه هواشناسـی کشـاورزی شـهرکرد و نیـز از داده‌هـای ۲ سـاله (۱۳۷۵-۱۳۷۷) ایسـتگاه لایسـیمتر مرکـز تحقیقـات هواشناسـی کشـاورزی شهرکرد استفاده گردید. لایسیمتر در قطعه زمینی بـه مسـاحت ۱۶۰۰ متر مربع به قطر ۳ متر نصب و در کنار لایسیمتر چاهک اندازه‌گیـریِ زهکش به مساحت ۲ متر مربع و عمق ۳/۵ متر از سطح زمین احداث گردید. قبل از کاشت گیاه خاک درون لایسـیمتر آبیـاری گردیـد و دو روز بعد کاشـت گیـاه انجـام شـد. تبخیرتعـرق گیـاه گنـدم از طریـق لایسیمتر با استفاده از رابطه تعادل آبی زیر به دست آمد:

$$ETc = I + P - D \pm \sum_{i=1}^{n}(Pw1 - Pw2)$$

که در آن ETc تبخیرتعرق واقعی گیاه در دوره هفتگی بر حسـب میلی‌متر، I آب آبیاری بر حسب میلـی‌متـر در دوره هفتگـی، P میـزان بارش بر حسب میلی‌متر در دوره هفتگـی، D آب زهکـش بـر حسـب میلی‌متر در دوره هفتگی، $Pw1$ رطوبت خاک زمان گذشته بر حسـب میلی‌متر (رطوبت خاک هفته قبل)، $Pw2$ رطوبت خاک زمان حال بـر حسب میلی‌متر (رطوبت خاک هفته بعد)(۱۵).

ضریب همبستگی پیرسون یکی از روش‌هـایی اسـت کـه بـرای طبقه گسترده‌ای از روابط بین متغیرها استفاده می شود. این ضریب بر اساس ماتریس کوواریانس داده‌ها، اسـتحکام رابطـه بـین دو بـردار را ارزیابی می‌کند:

$$R(\alpha_i,\alpha_j) = \frac{cov(\alpha_i,\alpha_j)}{\sqrt{var(\alpha_i)*vra(\alpha_j)}}$$

که در آن $cov(\alpha_i.\alpha_j)$کوواریانس، $var(\alpha_i)$ واریـانس α_i و $var(\alpha_j)$ واریانس α_j است.ضریب همبستگی پیرسون مقداری بین +۱ و -۱ نشان می دهد. +۱ به معنی همبسـتگی کامـل مثبـت و -۱ منفی به معنی همبستگی کامل منفی است. (۳۴).

در ادامه برای محاسبه میزان خطای نتایج هـر کـدام از مـدل‌هـا نسبت به داده‌های لایسـیمتر از روش ریشـه میـانگین مربعـات خطـا (*RMSE*)، متوسط قدر مطلق خطا (*MAD*) و خطای میانگین مربعات (*MSE*) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\hat{X}_i)^2}{n}}$$

که در آن n تعداد مشاهدات، $\hat{X}_i$ مدل پایه و X_i مدل‌های وابسته می‌باشد (۳۵).

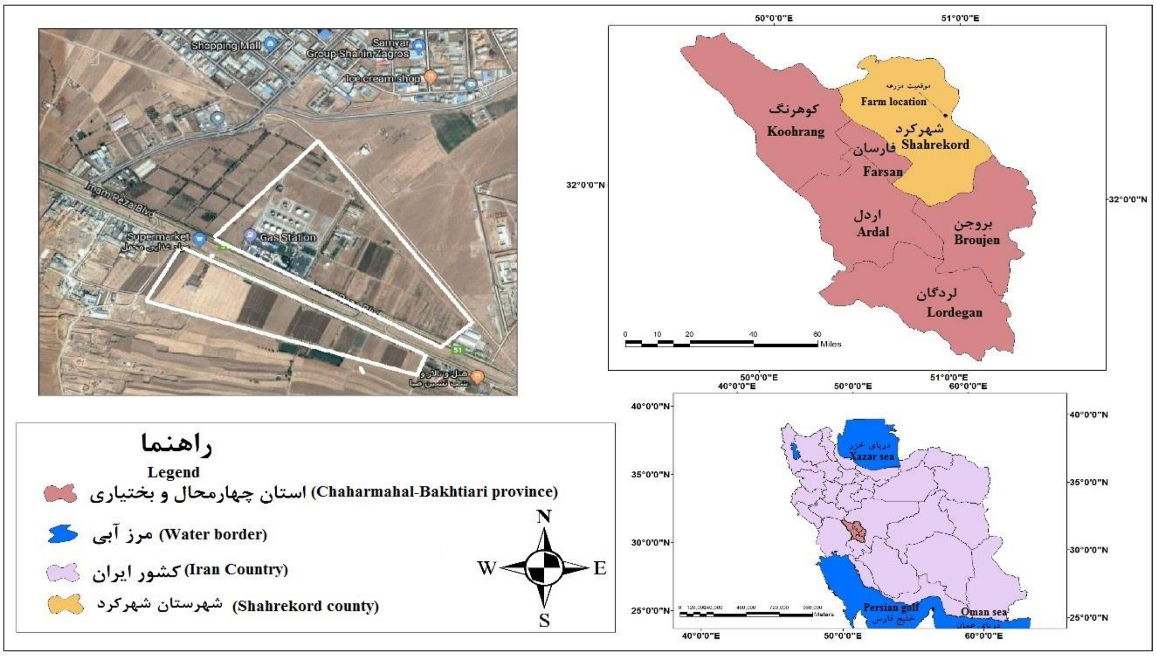
$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{n}|A_t-F_t|}{n}$$

که در آن n تعداد مشاهدات، A_t متغیر مستقل و F_t متغیر وابسته است (۲۵).

$$MSE = \frac{1}{n}\sum(A_t - F_t)^2$$

که در آن n تعداد مشاهدات، A_t متغیر مستقل و F_t متغیر وابسته است (۱).

1- Erosion Productivity Impact Calculator
2- WOrld FOod STudies
3- Agricultural Production Systems sIMulator
4- Decision Support System for Agrotechnology Transfer



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت شهرکرد و مزرعه تحقیقاتی

Figure 1- Geographical location of Shahrekord plain and research farm

برای انجام این تحقیق، از مدل CERES[1] - Wheat استفاده شد . این مدل از گروه مدل‌های DSSAT4.7 می‌باشد که برای غلات تهیه شده است.

سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی (DSSAT) برای شبیه‌سازی رشد، توسعه و عملکرد محصول در یک منطقه یکنواخت، و همچنین تغییرات آب، کربن و نیتروژن خاکی که در طی دوره کاشت تحت سیستم کشت قرار می‌گیرند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل شبیه‌سازی رشد و عملکرد ۴۲ محصول را انجام می‌دهد. داده‌های ورودی مورد نیاز برای این مدل شامل داده های آب و هواشناسی (کمینه و بیشینه دما، رطوبت نسبی، تابش خورشید، باران و...)، داده‌های مدیریت خاک و مدیریت محصول (تنوع، فاصله ردیف، جمعیت گیاه، کود و تاریخ مصرف آن و میزان آبیاری) می‌باشد (۳۲).

برای استفاده از مدل، لازم است که داده‌های مورد نیاز برای شبیه سازی، تحت فایل‌های خاصی سازماندهی و به مدل ارائه شوند. این فایل‌ها هر کدام جنبه خاصی از رشد و نمو گیاه و یا شرایط محیطی را نشان می‌دهند. فایل X شامل اطلاعات مدیریت زراعی می‌باشد که توسط زیر مدل XBIULD به مدل ارائه می‌شود. برای ساخت فایل خاکشناسی از زیر مدل SBUILD استفاده می‌شود. اطلاعات هواشناسی باید حداقل مشتمل بر درجه حرارت حداکثر و حداقل، تشعشع خورشیدی و میزان بارندگی باشند که توسط زیر مدل Weather Man برای مدل تعریف می‌شود (۱۲).

نتایج و بحث

نتایج آزمایش مزرعه

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات چهارتخته شهرکرد انجام گردید. ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه به همراه اطلاعات عملکرد محصول و مقدار تبخیرتعرق در جداول ۳-۱ آمده است. قبل از کاشت گیاه خاک درون لایسیمتر آبیاری گردید. ۲ روز بعد از آبیاری اقدام به کاشت ۱۲۰۰۰۰ بوته در هر هکتار گردید.

مقدار تبخیرتعرق گندم از زمان کاشت (۲۸ مهر) تا زمان برداشت محصول (۲۳ تیر) ۶۱۱٫۲۴ میلی‌متر بود. بارش در طول فصل زمستان کم ولی مداوم و به مقدار ۱۲۷ میلی‌متر می‌باشد که معادل تبخیرتعرق در این زمان از رشد می باشد.در فصل گرم سال یک چهارم تبخیر تعرق از طریق بارندگی تامین می‌شود. متوسط تبخیرتعرق فصل زمستان برابر ۰٫۸۷ میلی‌متر در روز و در فصل رویش ۴ میلی‌متر در روز می‌باشد. از زمان کاشت تا برداشت نیز ۲٫۴۲ میلی‌متر در روز است که حداکثر آن ۷٫۸ و حداقل آن ۲٫۳۲ میلی‌متر در روز ثبت شده است.

1- Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis

مقدار کل آب زهکشی شده در طول دوره رشد ۷۶٫۰۴ میلی‌متر است که معادل ۸٫۸ درصد کل بارندگی است. این نشان می‌دهد آب زهکشی خارج شده از خاک رقم پایینی است و آبیاری راندمان بالایی داشته است.

میزان عملکرد کل محصول برابر ۱۴۴۶۰ کیلوگرم در هکتار، میزان عملکرد دانه برابر ۵۵۶۰ کیلوگرم در هکتار و میزان عملکرد کاه و کلش ۸۹۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. شاخص برداشت محصول ۰٫۴۲و وزن هر دانه داخل خوشه ۱٫۵ گرم در هر خوشه می‌باشد (جدول ۲).

راندمان تولید کل محصول برابر ۲٫۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب و راندمان تولید دانه معادل ۰٫۸۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب آب است. به ازای هر ۴۹۲ لیتر آب یک کیلوگرم کل محصول و هر ۱۲۰۴ لیتر آب یک کیلوگرم دانه تولید می‌شود. راندمان مصرف آب ۹۱ درصد می باشد.

جدول ۱- تبخیرتعرق به دست آمده از لایسیمتر نصب شده در مزرعه تحقیقاتی (میلی‌متر در روز)

Table 1- Evapotranspiration obtained from the LySimeter installed at the research farm (mm/day)

	لایسیمتر Lysimeter
ژانویه January	0.50
فوریه February	0.43
مارس March	1.68
آوریل April	2.33
می May	3.75
ژوئن June	6.30
جولای July	5.52
آگوست August	2.37
سپتامبر September	
اکتبر October	2.10
نوامبر November	1.39
دسامبر December	0.70

جدول ۲- میزان عملکرد محصول در مزرعه لایسیمتری

Table 2- Performance of the product in the lysimeter farm

Crop performance	**مقدار عملکرد Performance amount**
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg / ha)	5560
عملکرد کاه و کلش (کیلوگرم در هکتار) Chaff yield (kg/ha)	8900
وزن هر دانه (کیلوگرم در هکتار) Weight of each grain (kg / ha)	15
شاخص برداشت Harvest index	0.42

جدول ۳- اطلاعات شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی
Table 3- Chemical data of soil research farm

عمق Depth (cm)	درجه اشباع Saturation degree	هدایت الکتریکی (dS/m) Electric conductivity (ds / m)	واکنش کل اشباع Total saturation reaction PH	مواد خنثی شونده (٪) Neutralizing material (%)	کربن آلی (٪) Organic carbon (%)	ازت کل (٪) Total N (%)	فسفر قابل جذب Phosphor absorbable PPM	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium ppm
0-30	45	0.35	8.07	40.4	0.55	7	8.15	384
30-60	52	0.32	8.08	38	0.48	7.2	7.7	293

نتایج واسنجی مدل DSSAT-CERES-Wheat

به منظور واسنجی مدل DSSAT-CERES-Wheat برای گندم در دشت شهرکرد، از نتایج آزمایش مزرعه ای استفاده گردید. ابتدا داده‌های اقلیمی مورد نیاز وارد مدل شد. از آنجا که برای اجرای مدل داده‌های تشعشع خورشید مورد نیاز است، با معرفی داده‌های مربوط به ساعات آفتابی به مدل و مشخص کردن تشعشع خورشید به عنوان داده از دست رفته، این سنجه محاسبه و برای گرفتن خروجی مورد استفاده قرار گرفت. هنگام وارد کردن اطلاعات مزرعه (جدول ۳)، تنش آبی برای دوره رشد محصول در نظر گرفته شد و با انتخاب هر دو روش محاسبه تبخیرتعرق (فائوپنمن مونتیث[1]، پرستلی تیلور[2])، دو تیمار برای مدل در نظر گرفته شد و نتایج زیر به دست آمد.

مقدار تبخیرتعرق گندم در طول دوره رشد محصول از طریق روش فائو پنمن مانتیث ۴۱۳٫۵۱ میلی‌متر و از طریق روش پرستلی- تیلور ۴۸۹٫۵۳ میلی‌متر بود (جدول ۴ و نگاره ۲ و ۳). بارش در طول فصل زمستان کم ولی مداوم و به مقدار ۱۲۷ میلی‌متر می‌باشد که معادل تبخیرتعرق در این زمان از رشد می‌باشد. در فصل گرم سال یک چهارم تبخیرتعرق از طریق بارندگی تامین می‌شود. متوسط تبخیرتعرق فصل زمستان براساس روش F.P.M و P.T به‌ترتیب برابر ۰٫۸۶ و ۱٫۲۳ میلی‌متر در روز و در فصل رویش ۲٫۹۸ و ۳٫۱۱ میلی‌متر در روز می‌باشد. از زمان کاشت تا برداشت متوسط تبخیرتعرق ۱٫۵۹ میلی‌متر در روز برای روش F.P.M است که حداکثر آن ۶٫۶۱ و حداقل آن ۰٫۳۷ میلی‌متر در روز و ۱٫۸۸ میلی‌متر در روز برای روش P.T است که حداکثر آن ۵٫۶۴ و حداقل آن ۰٫۴۵ میلی‌متر در روز ثبت شده است. مقدار کل آب زهکشی شده در طول دوره رشد ۱۰۶٫۳ میلی‌متر بر اساس روش F.P.M و ۹۰٫۲ بر اساس روش P.T است.

میزان عملکرد محصول با توجه به تیمارهای در نظر گرفته شده در جدول ۵ آمده است. بر اساس روش F.P.M عملکرد محصول ۵۳۶۹ کیلوگرم در هکتار و بر اساس روش P.T ۳۲۳۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. عملکرد وزن دانه برابر ۱٫۷ گرم دانه در هر خوشه است. عملکرد کاه و کلش بر اساس روش F.P.M، ۲۴۳۶ کیلوگرم در هکتار و بر اساس روش P.T، ۱۵۸۰ کیلوگرم در هکتار است (جدول ۵). این مقادیر نسبت به نتایج مزرعه بسیار پایین هستند.

نتایج صحت‌سنجی مدل DSSAT-CERES-Wheat

نتایج صحت‌سنجی خروجی DSSAT با نتایج آزمایش مزرعه‌ای با استفاده از روش‌های همبستگی و شاخص‌های ارزیابی خطا در جدول ۶ آمده است. همبستگی بین اطلاعات مزرعه با روش F.P.M مدل CERES-Wheat بسیار بالا بود و مقدار ۰٫۹۷ را نشان داد. این مقدار برای روش P.T ۰٫۹۲ به دست آمد. مقادیر MSE،MAD و RMSE برای روش F.P.M به ترتیب برابر ۰٫۹۵، ۰٫۹۵ و ۱٫۵۷ و برای روش P.T به ترتیب ۰٫۹۷ ، ۱٫۴۷ و ۱٫۲۱ می‌باشد. با توجه به مقادیر همبستگی و MSE،MAD و RMSE مشخص می‌شود که مدل توانایی بالایی در شبیه‌سازی تبخیرتعرق و عملکرد محصول دارد. در بین روش‌های تعیین تبخیرتعرق روش F.P.M با همبستگی بالا و مقدار خطای پایین دقیق‌تر از روش P.T می‌باشد. روش F.P.M برای برآورد مقدار تبخیرتعرق از ۸ مولفه مثل تابش خالص، سرعت باد، دمای هوا، شیب منحنی فشار، شار گرمای خاک، فشار بخارآب اشباع، فشار بخار واقعی برای برآورد مقدار تبخیرتعرق استفاده می‌کند. روش P.T علاوه بر تابش خالص، شار گرمای داخل خاک و شیب منحنی فشار از گرمای نهان تبخیر و ضریب رطوبتی نیز برای برآورد تبخیرتعرق استفاده می‌کند. این روش مولفه‌های میانگین دما، میانگین سرعت باد و فشار بخارآب را که بسیار مهم و تاثیرگذار در رویداد تبخیرتعرق است در نظر نمی‌گیرد. بنابراین مقدار تبخیرتعرق به دست آمده از این روش خطای بیشتری نسبت به داده‌های واقعی لایسیمتر نشان می‌دهد.

1- FAO Penmam_Monteithe (F.P.M)
2- Priestley-Taylor (P.T)

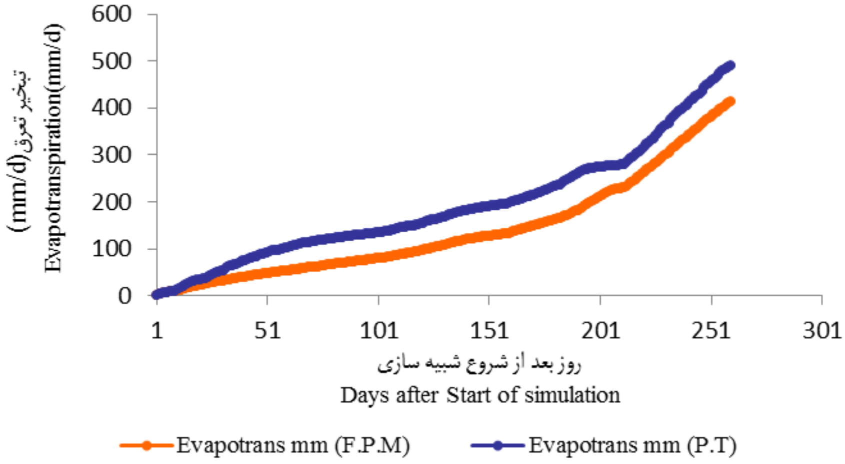
جدول ٤- خروجی واسنجی مدل DSSAT-CERES-Wheat برای تبخیرتعرق (میلی‌متر در روز)
Table 4- Calibration output of DSSAT-CERES-Wheat model for evapotranspiration (mm/day)

	(فائو.پنمن.مانتیث) FAO Penman-Monteith	(پرستلی-تیلور) Priestley-Taylor
ژانویه January	0.62	0.62
فوریه February	1	1.23
مارس March	0.93	1.01
آوریل April	1.65	2.14
می May	2.81	2.06
ژوئن June	3.92	4.56
جولای July	3.55	3.68
آگوست* August		
سپتامبر* September		
اکتبر October	1	1.17
نوامبر November	0.96	2.07
دسامبر December	0.67	1.29

* این ماه‌ها پایان برداشت محصول هستند به همین دلیل مدل خروجی برای آن‌ها ثبت نمی‌کند.

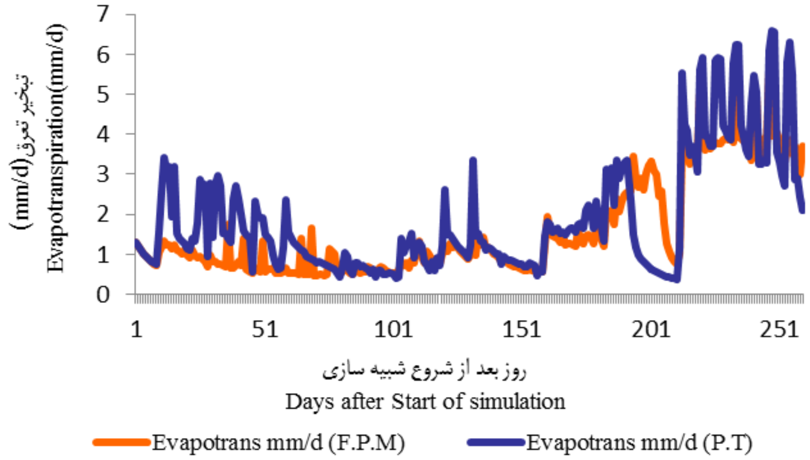
جدول ۵- خروجی DSSAT-CERES-Wheat برای عملکرد محصول
Table 5- DSSAT-CERES-Wheat Output for product performance

	(فائو.پنمن.مانتیث) FAO Penman-Monteith	(پرستلی-تیلور) Priestley-Taylor
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg/ha)	5369	3235
عملکرد کاه و کلش (کیلوگرم در هکتار) Chaff yield (kg/ha)	2436	1580
وزن هر دانه (کیلوگرم در هکتار) Weight of each grain (kg/ha)	17	17
شاخص برداشت Harvest index	0.73	0.73



شکل ۲- مقدار کل تجمعی تبخیر تعرق

Figure 2- Total Cumulative Evapotranspiration



شکل ۳- میانگین روزانه تبخیر تعرق

Figure 3- Daily Average Evapotranspiration

مدل عملکرد محصول را بسیار نزدیک به مقدار اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. میزان عملکرد دانه بر اساس اطلاعات مزرعه ۵۵۶۰ و بر اساس نتایج مدل ۵۳۶۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. نتایج عملکرد وزن دانه نیز بسیار نزدیک به مزرعه و برابر ۱,۷ دانه در هر خوشه است. اما عملکرد کاه و کلش بسیار کمتر از مزرعه بود. به دلیل اینکه فقط استرس آب برای محصول در نظر گرفته شده و از نظر کودپاشی و ... شبیه‌سازی انجام نشده است. همچنین هیچ گونه آفت و یا بیماری برای محصول در طول دوره رشد در نظر گرفته نشده است.

جدول ٦- مقادیر شاخص های آماری صحت‌سنجی مدل CERES-Wheat

Table 6- Values of statistical indicators for CERES-Wheat validation

شاخص Index	لایسیمتر و DSSAT(F.P.M) Lysimeter & DSSAT(F.P.M)	لایسیمتر و DSSAT(P.T) DSSAT(P.T) Lysimeter &
MAD	0.95	0.95
MSE	0.95	1.47
RMSE	1.57	1.21
R	0.97	0.92

شبیه‌سازی کارایی مصرف آب

نمودارهای ۴ و ۵ و جدول ۷ مقدار آب در دسترس نسبت به تقاضا و مقدار جذب آب نسبت به تقاضای گیاه را نشان می‌دهد. نسبت جذب آب و دسترسی به آب شاخصی برای تعیین مطلوب بودن استفاده از آب می‌باشد. مقادیر مربوط به آب در دسترس و جذب آب نسبت به تقاضا نشان می‌دهند که چند برابر تقاضای گیاه برای آب، آب در دسترس یا قابل جذب در خاک وجود دارد. DSSAT مقدار دسترسی بالای ۱۰۰ و جذب بالای ۱۵ را محاسبه نمی‌کند (۱۰۰ دسترسی مطلوب و ۱۵ جذب مطلوب). مقادیر پایین تر از ۱ در آب قابل جذب نسبت به تقاضا تنش خشکی برای گیاه به حساب می‌آید.

جدول ۷- فاکتور آب برای رشد محصول گندم

Table 7- Water factor for growth of wheat crop

روز بعد از کاشت Day after planting	مقدار آبیاری (میلی‌متر) Irrigation value (mm)	آب در دسترس نسبت به تقاضا Water available to demand ratio		آب قابل جذب نسبت به تقاضا Water uptake to demand ratio	
		P.T	F.P.M	P.T	F.P.M
8	34.3	99.9	99.9	1	1
23	24.2	99.9	99.9	1.44	3.04
30	13.1	99.9	99.9	2.96	7.18
37	25.3	99.9	99.9	4.8	12.62
44	25	99.9	99.9	7.59	15
210	36.6	3.83	9.94	0.09	0.28
217	40.7	2.45	3.87	5.4	8.48
224	43.4	7.84	10.11	12.41	14.13
231	42.8	12.01	14.03	14.7	15
238	29.4	14.82	19.54	15	14.59
245	52.6	18.45	23.33	15	15
252	54.7	23.94	27.91	15	15
259	60.4	31.87	36.58	15	15
266	58.2	58.72	52.9	15	15
273	55.8				

آب در دسترس نسبت به تقاضا

بر اساس نمودار ۴ تا ۱۵۰ روز بعد از کشت محصول، مقدار آب در دسترس نسبت به تقاضای گیاه بالا بوده است. در این مدت، گیاه مرحله اولیه رشد را به پایان رسانده و در مراحل پایانی توسعه قرار دارد. مرحله اولیه از زمان کشت شروع شده و تا رسیدن به مقدار پوشش گیاهی ۱۰ درصد ادامه می‌یابد. در این مرحله برگ‌های اولیه ظاهر می‌شوند. مرحله توسعه گیاه از پوشش ۱۰ درصد شروع شده و تا زمان پوشش کامل موثر ادامه می‌یابد. گیاه در این مرحله شروع به پنجه‌زنی می‌کند و ساقه روی گیاهان شروع می‌شود. مرحله میانی رشد از پوشش کامل تا رسیدن محصول ادامه می‌یابد. خوشه‌دهی و شروع گلدهی، خمیری شدن و شروع پر شدن دانه در این مرحله اتفاق می‌افتد. اغلب، با پلاسیدگی گیاه یعنی زرد یا پلاسیدن و ریزش برگ تا حدی که تبخیرتعرق گیاه نسبت به تبخیرتعرق مرجع کاهش یابد، مرحله رسیدن محصول ظاهر می‌شود.

کمبود آب در هر یک از مراحل رشد باعث کاهش تعداد خوشه‌ها، طول خوشه، تعداد دادنه در هر خوشه و به طور کلی کاهش عملکرد محصول می‌شود. کمبود آب در مرحله توسعه و میانی رشد در مقایسه با مراحل ابتدایی و رسیدن محصول باعث کاهش بیشتر عملکرد گندم می‌شود. افت عملکرد به واسطه کمبود آب در این مرحله در مراحل دیگر با تامین رطوبت خاک جبران نمی‌گردد.

همانطور که در نمودار ۴ مشخص است ۱۷۷ روز بعد از کشت، از مقدار آب در دسترس گیاه به تدریج کم می‌شود. در این موقع روزهای گرم سال آغاز شده، تبخیرتعرق بالا رفته و از مقدار بارندگی‌ها کاسته شده است. همچنین به دلیل رسیدن گیاه به مرحله رشد فعال خود مقدار مصرف آب بالا رفته در نتیجه مقدار نیاز آبی گیاه افزایش می یابد. تنش آب در این مرحله باعث رشد دانه‌های چروکیده و لاغر و در نتیجه کاهش وزن دادنه و کاهش عملکرد محصول می‌شود.

بر اساس روش پرستلی–تیلور کمترین میزان آب در دسترس محصول ۲،۳ برابر تقاضای گیاه بوده است که در ۲۰۸ امین روز از کشت محصول مشاهده شده است. در این روز مقدار آب در دسترس بر اساس روش فائو پنمن مونتیث ۲،۵ برابر تقاضا بوده است. از روز ۱۷۷ ام تا روز ۲۱۶ حساس‌ترین مرحله رشد گیاه به حساب می‌آید. بر اساس خروجی DSSAT در یک دوره ۲۵ روزه (روز ۱۹۶– تا ۲۱۶ام)

آب در دسترس به شدت کم شده و گیاه ممکن است دچار تنش خشکی شود. پیشنهاد می‌شود در این موقع از رشد کمبود آب کمبود آب در این دوره باید با افزایش زمان و مقدار آبیاری جبران شود.

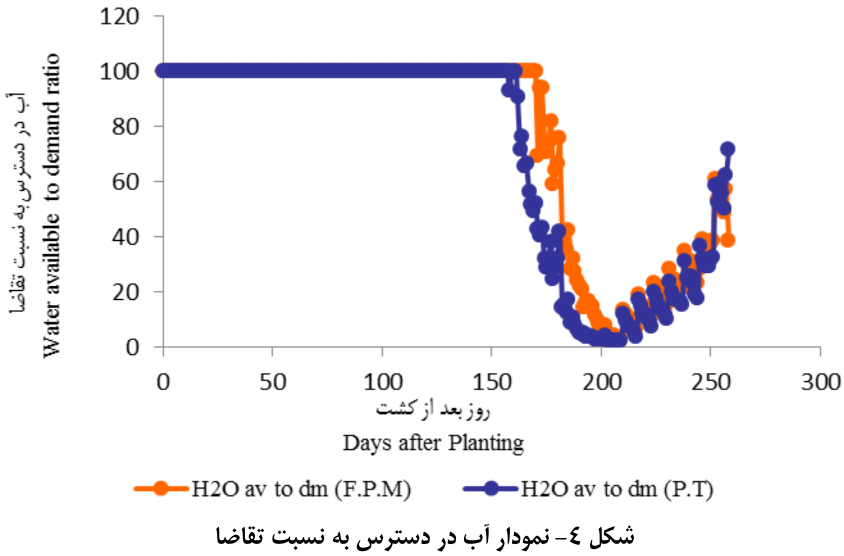
همانطور که از نمودار مشخص است مقدار آب در دسترس بر اساس روش پرستلی-تیلور به دلیل اینکه این روش تبخیرتعرق بیشتری برآورد می‌کند، زودتر کاهش می‌یابد.

آب قابل جذب نسبت به تقاضا

شکل ۵ نمودار آب قابل جذب را نسبت به تقاضای آبی که گیاه دارد، نشان می‌دهد. در هفته اول کشت مقدار آب قابل جذب ۱ برابر تقاضای گیاه بوده است. در این دوره کوتاه گیاه در آستانه تنش خشکی است و به مقدار آبیاری بالایی نیاز دارد. پس از این دوره تا روز ۳۹ ام مقدار آب قابل جذب در حال افزایش است. این دوره ۳۹ روزه با مرحله اولیه رشدگیاه همزمان است. در مرحله اولیه رشد آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است. آبیاری قبل از کشت گندم یا بلافاصله پس از کشت باعث می‌شود که بذر گندم با کمبود آب مواجه نشود. رشد بهتری انجام بدهد و بتواند در مراحل بعدی از عملکرد بیشتری برخوردار باشد. تامین آب کافی در این مرحله از رشد باعث می‌شود در فصل زمستان در خاک آب کافی ذخیره شود و خصوصاً در مناطق کم آب احتمالاً تا مرحله متورم شدن به آب اضافی نیاز نخواهد بود.

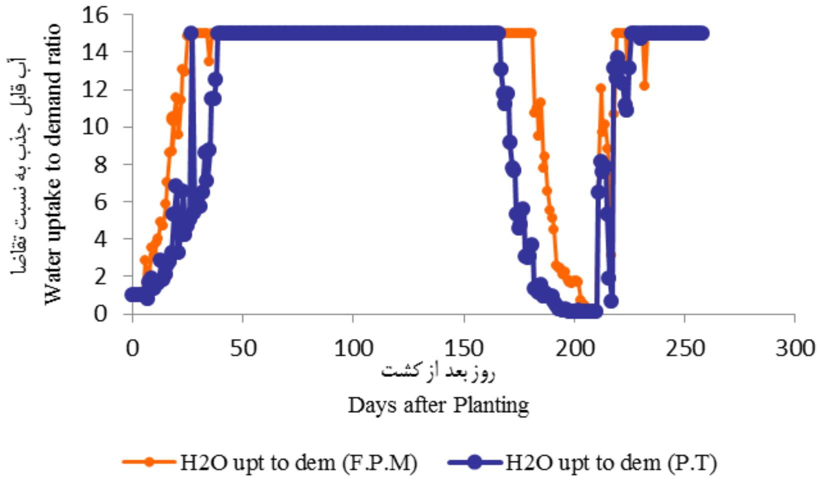
مقدار آب قابل جذب از روز اول تا ۳۹ روز بعد به تدریج افزایش یافته و تا روز ۱۶۷ ام کاشت به ۱۵ برابر تقاضای گیاه می‌رسد. این مرحله از رشد از نظر شرایط آب و هوایی در زمانی قرار دارد که دمای هوا در منطقه پایین رفته و در بیشتر مواقع سال در محدوده ۰ درجه سانتی‌گراد و پایین تر است. در این مرحله نیز کمبود آب باعث تعداد خوشه، طول خوشه و کاهش تعداد دانه در هر خوشه می‌شود. همچنین بیشتر بارش‌ها بصورت برف می‌باشد. به دلیل دمای پایین هوا در این دوره حدودا ۱۲۰ روزه گیاه در مرحله خواب به سر می‌بارد و نیازآبی آن کم می‌باشد.

پس از این دوره ۱۲۰ روزه مقدار آب قابل جذب نسبت به تقاضا پایین می‌آید. در این زمان گیاه به مرحله توسعه رشد خود رسیده و مقدار نیازآبی آن افزایش می‌یابد. اما با کاهش بارندگی‌ها و افزایش تبخیرتعرق دسترسی به آب کمتر می‌شود. بر اساس روش پرستلی تیلور از روز ۱۹۰ ام کشت تا روز ۲۱۰ ام مقدار آب قابل حذب به کمترین مقدار خود نسبت به تقاضای گیاه می‌رسد. روز ۲۱۰ ام آغاز افزایش تبخیرتعرق گیاه می‌باشد. در این دوره مقدار آب قابل جذب در خاک کمتر از ۱ برابر تقاضای گیاه بوده است. همانطور که قبلا عنوان شد اگر مقدار آب قابل حذب کمتر از ۱ برابر تقاضای گیاه باشد، گیاه دچار تنش خشکی می‌شود. این دوره تنش بر اساس روش فائو پنمن مونتیث بین روز ۲۰۳ ام تا ۲۱۰ ام بوده است. در این دوره گیاه مرحله خوشه‌دهی و گلدهی خود را سپری کرده و تنش آب در این مرحله باعث رشد دانه‌های چروکیده و لاغر و در نتیجه کاهش وزن دانه و کاهش عملکرد محصول می‌شود. کمبود آب باید از طریق افزایش آبیاری جبران گردد.



شکل ٤- نمودار آب در دسترس به نسبت تقاضا

Figure 4- Water available to demand ratio graph



شکل ۵- نمودار آب قابل جذب به نسبت تقاضا

Figure 5- Water uptake to demand ratio graph

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی مدل CERES-Wheat از بسته نرم‌افزار DSSAT4.7 برای محاسبه تبخیرتعرق و عملکرد و مدیریت بهینه آبیاری محصول گندم در دشت شهرکرد بود. برای ارزیابی، از نتایج آزمایش مزرعه‌ای در ایستگاه هواشناسی کشاورزی چهارتخته شهرکرد بهره گرفته شد. مقایسه نتایج واسنجی مدل و اطلاعات مزرعه‌ای در مورد تبخیرتعرق و عملکرد محصول نشان داد که همبستگی بالایی بین اطلاعات مزرعه و خروجی مدل وجود دارد. همچنین مقدار خطای بین نتایج مدل و اطلاعات ایستگاه لایسیمتر بسیار پایین بود. از بین روش‌هایی که برای محاسبه تبخیرتعرق در مدل استفاده می‌شود روش فائو پنمن مونتیث بیشترین همبستگی (۰,۹۷) و کمترین مقدار خطا را با آزمایشات و نتایج مزرعه دارد. در مجموع نتایج نشان داد مدل CERES-Wheat، توانایی بالایی در شبیه‌سازی تبخیر تعرق و عملکرد محصول گندم دارد. ارزیابی کارایی مصرف آب در کشت گندم با استفاده از نمودارهای آب در دسترس و آب قابل جذب در خاک نسبت به تقاضای گیاه انجام شد. با توجه به داده‌های مشاهداتی مربوط به برنامه آبیاری محصول مشخص شد که عملکرد کشاورزان از نظر مدیریت مقدار آب مورد نیاز برای محصول در مراحل مختلف رشد مطلوب نبوده است. در نتیجه تنش خشکی برای مراحل توسعه و میانی رشد مشاهده شد. شبیه‌سازی DSSAT نشان داد که مدیریت بهینه آبیاری با تنظیم زمان و مقدار آب آبیاری با توجه به تبخیرتعرق واقعی و نیاز آبی، استفاده از آب آبیاری را به طور قابل توجهی بهبود خواهد بخشید.

منابع

1- Abbasi S., Mohammadi H., and Dini A. 2009. Predict of Iranian oilseeds of price (Case Study: Maize and Soybeans), Quarterly Journal of Economic Research and Policies 17(49): 53-41. (In Persian)

2- Anar M.J., Lin Zh., Hoogenboom G., Shelia V., Batchelor W.D., Teboh J.M., Ostlie M., Schatz B.G., and Khan M. 2019.Modeling growth, development and yield of Sugarbeet using DSSAT, Agricultural Systems, 169: 58-70.

3- Andarzian B., Bakhshande A., Banayan M., and Imam Y. 2008. Evaluation of CERES-Wheat Simulation Model under Climatic Conditions of Ahwaz, Iranian Journal of Field Crops Researches 6(1): 11-22. (In Persian)

4- Anothai J., Soler C.M.T., Greenb A., Trout T.J., and Hoogenboom G. 2013. Evaluation of two evapotranspiration approaches simulated with the CSM–CERES–Maize model under different irrigation strategies and the impact on maize growth, development and soil moisture content for semi-arid conditions, Agricultural and Forest Meteorology 176: 64–76.

5- Attia A., Rajan N., Xue Q., Nair Sh., Ibrahim A., and Hays D. 2016. Application of DSSAT-CERES-Wheat model to simulate winter wheat response to irrigation management in the Texas High Plains, Agricultural Water Management 165: 50–60.

6- Azizi G., Safarrad T., Mohammadi H., and Faraji Sabokbar H.A. 2016. Evaluation and comparison of re-analysis rainfall data for use in Iran. Physical Geography Research 48(1): 49–33. (In Persian)

7- Chun-hong QU., Xiang-xiang LI., Hui JU., and Qin LIU. 2019. The impacts of climate change on wheat yield in

the Huang-HuaiHai Plain of China using DSSAT-CERES-Wheat model under different climate scenarios, Agricultural Water Management 97: 1195-1209.
8- Corbeels M., Chirat G., Messad S., and Thierfelder Ch. 2016. Performance and sensitivity of the DSSAT crop growth model in simulating maize yield under conservation agriculture, European Journal of Agronomy 76: 41-53.
9- Dallacort R., De Freitas P.S.L., Faria R.T., Goncalves A.C.A., Rezende R., and Guimarães R.M.L. 2011. Simulation of bean crop growth, evapotranspiration and yield in Paraná State by the CROPGRO-Drybean model, Acta Scientiarum. Agronomy 33: 4299-436.
10- DeJongea K.C., Ascough J.C., Andales A.A., Hansenc N.C., Garcia L.A., and Arabi M. 2012. Improving evapotranspiration simulations in the CERES-Maize model under limited irrigation, Agricultural Water Management 115: 92–103.
11- DeJonge K.C., and Thorp K.R. 2017. Implementing standardized reference evapotranspiration and dual crop coefficient approach in the DSSAT cropping system model, American Society of Agricultural and Biological Engineers 60(6): 1965-1981.
12- Delghandi M., Andarzian B., Boroumand Nasab S., Massah Bavani A., and Javaheri E. 1393. Evaluation of CERES-Wheat model DSSAT 4.5 in simulating growth, yield and phonological stages of wheat under different management conditions of water allocation in the field (Case study: Ahvaz city), Journal of Water and Soil (Agriculture Sciences and Technology) 28(1):82-91. (In Persian)
13- Dias M.P.N.M., Navaratne C.M., Weerasinghe K.D.N., and Hettiarachchi R.H.A.N. 2016. Application of DSSAT Crop Simulation Model to Identify the Changes of Rice Growth and Yield in Nilwala River Basin for Mid-centuries under Changing Climatic Conditions, Procedia Food Science 6: 159-163.
14- Doukoohi H., Ghaysari M., Mousavi S.F., and Mirlatifi S.M. 2012. Simulation of Soil Moisture in Low Irrigation Conditions Using DSSAT Model, Journal of Water and Irrigation Management (Journal of Agriculture) 2(1): 1-14. (In Persian)
15- Ebrahimi Pak N.A., and Sohrab S. 1999. Determination of actual evapotranspiration of wheat using Lysimeter in Shahrekord, Shahrekord Agricultural Meteorological Research Center. (In Persian)
16- Feizbakhsh M.T., Kamkar B., Mokhtarpour H., and Asadi M.E. 2015. Calibration and evaluation of CERES-Maize model in Gorgan weather conditions; Journal of Crop Production 8(4): 49-25. (In Persian)
17- Garibay V.M., Kothari K., Ale S., Gitz III D.C., Morgan G.D., Clyde L., and Munster C.L. 2019. Determining water-use-efficient irrigation strategies for cotton using the DSSAT CSM CROPGRO-cotton model evaluated with in-season data, Agricultural Water Management 223: 105695PP.
18- Jiang Y., Zhang L., Zhang B., He Ch., Jin X., and Bai X. 2016. Modeling irrigation management for water conservation by DSSAT-maize model in arid northwestern China, Agricultural Water Management 177: 37-45.
19- Kassie B.T., Asseng S., Porter Ch.H., and Royce F.S. 2016. Performance of DSSAT-Nwheat across a wide range of current and future growing conditions, European Journal of Agronomy 81: 27-36.
20- Kimball B.A., Boote K.J., Hatfield J.L., Ahuja L.R., Stockle C., Archontoulis S., Baron Ch., Basso B., Bertuzzi P., Constantin J., Deryng D., Dumont B., Durand J.L., Ewert F., Gaiser T., Gayler S., Hoffmann M.P., Jian Q., Kim S.H., Lizaso J., Moulin S., Nendel C., Parker P., Palosuo T., Priesack E., Qi Zh., Srivastava A., Stella T., Tao F., Thorp K.R., Timlin D., Twine T.E., Webber H., Willaume M., and Williams K. 2019. Simulation of maize evapotranspiration: An inter-comparison among 29 maize models, Agricultural and Forest Meteorology 271: 264-284.
21- Li Sh., Lei Y., Zhang Y., Liu J., Shi X., Jia H., Wang Ch., Chen Fu., and Chu Q. 2019. Rational trade-offs between yield increase and fertilizes inputs are essential for sustainable intensification: A case study in wheat–maize cropping systems in China, Science of The Total Environment 679: 328-336.
22- Malik W., Isla R., and Dechmi F. 2019. DSSAT-CERES-maize modelling to improve irrigation and nitrogen management practices under Mediterranean conditions, Agricultural Water Management 213: 298-308.
23- Malik W., and Dechmi F. 2019. DSSAT modelling for best irrigation management practices assessment under Mediterranean conditions, Agricultural Water Management 216: 27-43.
24- Mu Y., Liu X., and Wang L. 2018. A Pearson's correlation coefficient based decision tree and its parallel implementation, Information Sciences 435: 40–58.
25- Nabavi Chashmi S.A., and Hasanzadeh A. 2011. Evaluation of the Efficiency of the MA Index in Technical Analysis in Stock Price Forecast, Journal of Financial Knowledge of Securities Analytics, 4,10(2): 106-83. (In Persian)
26- Negm L.M., Youssef M.A., and Jaynes D.B. 2017. Evaluation of DRAINMOD- DSSAT simulated effects of controlled drainage on crop yield, water balance, and water quality for a corn-soybean cropping system in central Iowa, Agricultural Water Management 187: 57-68.
27- Ngwira A.R., Aune J.B., and Thierfelder C. 2014. DSSAT modelling of conservation agriculture maize response to climate change in Malawi, Soil and Tillage Research 143: 85-94.
28- Rahmani M., Jami-al-Ahmadi Feli Shahidi M., and Hadizadeh Azghandi M. 2015. Effect of climate change on the length of growth stages and the water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare*

L.) (Case study: Birjand Plain), Journal of Agroecology, 2007, 7(4): 443-460. (In Persian)
29- Rezaei M., Shahanazari A., Raeini Sarjaz M., and Vazifeh Doust M. 2015. Evaluation of the Efficiency of the CERES-Rice Model in Estimating the Efficiency and yield of Rice Water Large-scale, Iranian Journal of Irrigation and Drainage 9(2): 291-283. (In Persian)
30- Rezzoug W., Gabrielle B., Suleiman A., and Benabdeli K. 2008. Application and evaluation of the DSSAT-wheat in the Tiaret region of Algeria, African Journal of Agricultural Research 3: 284-296.
31- Shrivastava S., Kar S.C., and Sharma A.R. 2018. The DSSAT model simulations of soil moisture and evapotranspiration over central India and comparison with remotely-sensed data, Modeling Earth Systems and Environment 4:27–37.
32- Thorp K.R., DeJonge K.C., Kaleita A.L., Batchelor W.D., and Paz J.O. 2008. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support, Computers and Electronics in Agriculture 64: 276–285.
33- Yakoub A., Lloveras J., Biau A., Lindquist J.L., and Lizaso J.I. 2017. Testing and improving the maize models in DSSAT: Development, growth, yield, and N uptake, Field Crops Research 212: 95-106.
34- Yashuang Mu., Liu X., and Wang L. 2018. A Pearson’s correlation coefficient based decision tree and its parallel implementation’, Information Sciences 435: 40–58.
35- Zand-Kermi S., and Darand M. 2016. Evaluation of the accuracy of rainfall data of the Global Climatology Center on Iran, Iranian Journal of Geophysics 10(5): 95-113. (In Persian)

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 579-592

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۵۹۲-۵۷۹

Simulation of Yield, Evapotranspiration, Water Requirement and Water Use Efficiency of Wheat Using CERES-WHEAT-DSSAT Model in Shahrekord Plain

S. Tofiq[1]- D. Rahimi[2]*- H. Yazadnpanah[3]

Received: 20-01-2020
Accepted: 10-03-2020

Introduction Statistical models and numerical simulations have been widely used to detect relationships between the climate and crops. However, the influence of non-climatic factors (such as cultivar and fertilizer changes on yield crop needs to be eliminated. For this reason, dynamic crop models include the SUCROS, Erosion Productivity Impact Calculator(EPIC), WOrld FOod STudies (WOFOST), Agricultural Production Systems sIMulator (APSIM), and Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) have been used in water, nitrogen and weather responses. Among these models DSSAT contains separate models for different crops and can quantitatively predict the growth and production of the annual field crops.

Materials and Methods: In this study, the data of Shahrekord Agricultural Meteorological Station and the data of Lysimeter Station were used to evaluate the correlation between the research results and Lysimeter data from Pearson correlation coefficient, and the RMSE, MAD and MSE are applied in order to calculate the error.

Results and Discussion: Lysimeter: The wheat evapotranspiration amount from the planting (20 of Octobers) to the harvest time (14 of July) is recorded as 611.24 mm. Precipitation during the winter is low but continuous and it is 127 mm that equivalent to the evapotranspiration at this time of growth. In the warm season, a quarter of the evapotranspiration is provided by rainfall. The average of winter evapotranspiration is 0.87 mm per day and in the growth season is 4 mm per day. Also from planting to harvest is 2.42 mm per day that is recorded its maximum 7.8 mm and its minimum 2.32 mm per day. The total amount of drained water during the growth is 76.04 mm that 8.8% of the total rainfall. It indicates that drainage water from the soil is low and irrigation has a high efficiency.

CERES-WHEAT: Wheat evapotranspiration amount during the growth period is 413.51 mm by FAO Penman-Monteith and 489.53 mm by Priestley-Taylor. Precipitation during the winter is low but continuous and it is 127 mm that equivalent to the evapotranspiration at this time of growth. In the warm season, a quarter of the evapotranspiration volume is provided through rainfall. The average of winter evapotranspiration based on the F.P.M and P.T methods are 0.86 and 1.23 mm/day and in the growing season 2.98 and 3.11 mm/day, respectively. During the experiment, the evapotranspiration average is 1.59 mm/day for the FPM method that the maximum is 6.61, and the minimum is 0.379 mm/day. This amount is 1.88 mm/day for P.T method which the maximum is 5.64 and the minimum is 0.45 mm per day. The total amount of drained water during the growing period is 106.3 mm, based on the F.P.M method and 90.2 mm based on the P.T method.

The correlation between farm data and the data obtained through the F.P.M method of CERES-Wheat model is 0.97, which for the P.T method is 0.92. The MAD, MSE and RMSE values obtained between the F.P.M method and farm data are 0.95, 0.95 and 1.57, respectively, and for the P.T method, 0.97, 1.47 and 1.21, respectively. With respect to correlation and MAD, MSE and RMSE value, it is found that the model is highly capable in simulating evapotranspiration and crop performance. Among the methods applied in determining evapotranspiration, the F.P.M method with high correlation and lower error value is more accurate than the P.T method.

Water Factor: From the day 177 to 216 is considered the most sensitive stage of plant growth. Based on DSSAT output over a 25-day period (196 to 216 days) the water available is severely depleted and the plant may experience drought stress. At this stage of the growth, water deficiency should be offset by increasing the time and the amount of irrigation.

Day 210 is the beginning time of the increase in evapotranspiration of the plant. During this period, the amount of water which is uptake from the soil was less than 1 time the plant demand. This period of stress was

1- Ph.D. Student of Agriculture Climatology, University of Isfahan
2 and 3- Associate Professors of Climatology, University of Isfahan
(*- Corresponding Author Email: d.rahimi@geo.ui.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.84847

based on the FAO Penman- Monteith method between the 203rd and 210th days. During this period, the plant goes through its clustering and flowering stages, and water stress at this stage causes the growth of wrinkled and lean grain, resulting in reduced grain weight and reduced crop yield. Water scarcity must be compensate by increased irrigation.

Conclusion: Comparison of model calibration results and farm data indicates that there is a high correlation between farm data and model output. The error between the model results and the Lysimeter station data is low. Among the methods used to calculate the evapotranspiration in the model, FAO Penman- Monteith method is the highest correlation and the lowest error value with the farm experiments and results. In general, the results indicated that the CERES-Wheat model has a high ability to simulate evapotranspiration and wheat yield. Regarding observed data for crop irrigation program indicates that farmers' performance in managing the amount of water needed for the crop at various stages of the growth was not optimal. Consequently, drought stress was observed for developmental and mid-growth stages. The DSSAT simulation indicated that the optimal irrigation management adjusts the time and value of irrigation water according the actual evapotranspiration and water requirement would significantly improve irrigation water use.

Keywords: DSSAT-CERES-WHEAT, Evapotranspiration, FAO Pennman Monteith, LySimeter, Priestley-Taylor